



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 196 46 676 C 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 41/083**  
H 01 L 41/09  
H 01 L 41/24  
H 02 N 2/00

⑳ Aktenzeichen: 196 46 676.8-35  
㉔ Anmeldetag: 12. 11. 96  
㉕ Offenlegungstag: -  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 4. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

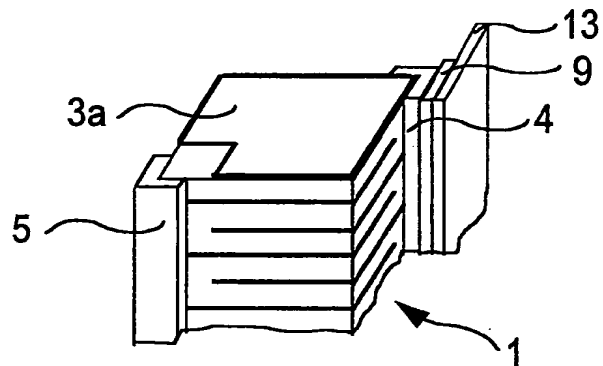
⑦② Erfinder:  
Cramer, Dieter, Dipl.-Ing. (FH), 83607 Holzkirchen,  
DE; Hellebrand, Hans, Dipl.-Phys., 81669 München,  
DE; Lubitz, Karl, Dr.rer.nat., 85521 Ottobrunn, DE;  
Wolff, Andreas, Dipl.-Phys., 81739 München, DE;  
Hamann, Christoph, Dr.-Ing., 85551 Kirchheim, DE;  
Scherer, Clemens, 80469 München, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

US 48 45 399  
JP 03-4 576 A

⑤④ **Piezoaktor mit neuartiger Kontaktierung und Herstellverfahren**

⑤⑦ Beim Betrieb von Piezoaktoren in Vielschichtbauweise können aufgrund von Spannungen während der Polarisierung oder während des Betriebs des Piezoaktors Risse in den Metallisierungstreifen auftreten, die zur Kontaktierung der Elektrodenstschichten außer am Aktor angebracht sind. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, elektrisch leitfähige Kontaktfahnen so auf die Metallisierungstreifen aufzubringen, daß ein überstehender Bereich verbleibt, so daß bei dennoch auftretenden Rissen diese im überstehenden Bereich der Kontaktfahne verlaufen und die Risse elektrisch überbrückt werden.



**DE 196 46 676 C 1**

**DE 196 46 676 C 1**

Piezoaktoren bestehen üblicherweise aus mehreren in einem Stapel angeordneten Piezoelementen. Jedes dieser Elemente wiederum besteht aus einer Piezokeramikschi-  
 5 ckt, die beiderseits mit metallischen Elektroden versehen ist. Wird an diese Elektroden eine Spannung angelegt, so reagiert die Piezokeramikschi-  
 ckt mit einer Gitterverzerrung, die entlang einer Hauptachse zu einer nutzbaren Längenausdehnung führt. Da diese wiederum weniger als zwei Promille der Schichtdicke entlang der Hauptachse beträgt, muß zur Erzielung einer gewünschten absoluten Längenausdehnung eine entsprechend höhere Schichtdicke aktiver Piezokeramik bereitgestellt werden. Mit zunehmender Schichtdicke der Piezokeramikschi-  
 10 ckt innerhalb eines Piezoelementes steigt jedoch auch die zum Ansprechen des Piezoelementes erforderliche Spannung. Um diese in handhabbaren Grenzen zu erhalten, werden Mehrschichtaktoren hergestellt, bei denen die Dicken von Piezoeinzelementen üblicherweise zwischen 20 und 200 µm liegen. Ein Piezoaktor muß für eine gewünschte Längenausdehnung dann eine entsprechende Anzahl an Einzelementen bzw. -schichten aufweisen.

Bekannte Piezoaktoren in Vielschichtbauweise bestehen daher aus insgesamt bis zu einigen hundert Einzelschichten. Zu deren Herstellung werden Piezokeramikgrünfolien alternierend mit Elektrodenmaterial zu einem Stapel angeordnet und gemeinsam zu einem monolithischen Verbund von bis zu ca. 5 mm Höhe laminiert und gesintert. Größere Aktoren mit größerer absoluter Auslenkung können beispielsweise durch Verkleben mehrerer solcher Stapel erhalten werden. Ausreichend hohe Steifigkeiten, insbesondere wenn mit dem Piezoaktor hohe Kräfte übertragen werden müssen, besitzen Piezoaktoren in voll monolithischer Vielschichtbauweise, die einen ausreichend festen Verbund der Einzelschichten im Stapel zeigen.

Zur elektrischen Kontaktierung solcher Piezoaktoren in Vielschichtbauweise werden beispielsweise Metallisierungsstreifen an der Außenseite des Piezoaktors oder auch in einer Bohrung in der Flächenmitte der Einzelaktoren angebracht. Damit eine Elektroden-schicht für die beiden benachbarten Piezokeramikschi-  
 45 ckten als Elektrode dienen kann, erfolgt die elektrische Kontaktierung der Elektroden-schichten innerhalb des Stapels in alternierender Polarität. Um beispielsweise jede zweite Elektroden-schicht mit einem der Metallisierungsstreifen zu verbinden, muß dieser gegen die dazwischenliegenden Elektroden-schichten isoliert werden. Dies gelingt in einfacher Weise dadurch, daß jede zweite Elektroden-schicht im Bereich des einen Metallisierungsstreifens eine Aussparung aufweist, in der sie nicht bis zum Metallisierungsstreifen geführt wird. Die übrigen Elektroden-schichten weisen die Aussparungen dann im Bereich des zweiten Metallisierungsstreifens auf, um eine Kontaktierung mit alternierender Polarität zu ermöglichen.

Ein solcher mehrschichtiger Piezoaktor ist beispielsweise aus der US 4 845 399 bekannt. Ein mehrschichtiges piezoelektrisches Element ist außerdem aus der JP 03-4576 A bekannt, bei dem die Kontaktierungsstreifen zur Verbesserung der Reißfestigkeit einen mehrschichtigen, eine isolierende Schicht umfassenden Aufbau aufweisen.

Eine weitere Möglichkeit der alternierenden Kontaktierung besteht darin, jede zweite Elektroden-schicht nachträglich im Bereich der Metallisierungsstreifen zu isolieren. Dies gelingt beispielsweise durch Glasisolierungen, die nach dem Herstellen des gestapelten monolithischen Piezoaktors zum Beispiel elektrophoretisch am Rand der Elektroden-schichten aufgebracht werden. Dieses Verfahren ist jedoch kostenaufwendig und ist auf Piezoaktoren beschränkt,

deren keramische Einzelschichten eine Dicke von zumindest 100 µm aufweisen. Wegen der geringen Glasisolierstrecke sind derartig kontaktierte Piezoaktoren außerdem nicht für hohe Zuverlässigkeit und ungeschützte Umgebungsbedingungen geeignet.

Piezoaktoren, deren alternierende Kontaktierung über Aussparungen der Elektroden-schichten erfolgt, sind im Kontaktierungsbereich piezoelektrisch inaktiv, da sich dort durch die jeweils eine fehlende Elektrode kein elektrisches Feld aufbauen kann. Dies hat sowohl bei der Polarisierung als auch beim Betrieb des Piezoaktors zur Folge, daß sich in diesem piezoelektrisch inaktiven Kontaktierungsbereich mechanische Spannungen aufbauen, die zu Rissen an den Metallisierungsstreifen parallel zu den Elektroden-schichten führen können. Dies kann zum vollständigen Durchtrennen der Metallisierungsstreifen führen und hat zur Folge, daß bei punktförmiger Spannungszuführung von außen an die Metallisierungsstreifen ein Teil des Piezoaktors von der Spannungsversorgung abgehängt und damit inaktiv wird. Die Zahl der Risse hängt von der Gesamthöhe des Aktors sowie von der Festigkeit der Grenzfläche Innenelektrode/Piezokeramik ab und kann sich auch im Dauerbetrieb bei wechselnden Lastbedingungen weiter erhöhen. Eine bereits bei der Polarisierung bestehende Reißöffnung wird parallel zur Ansteuerung des Aktors weiter vergrößert, geht aber bei Abschalten der Spannung wieder auf den Ausgangswert zurück. Es wird also beim dynamischen Betrieb eine dynamische Veränderung der Risse bzw. eine dynamische Veränderung der Reißöffnungen beobachtet, die die Metallisierungsstreifen weiter schädigen kann.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, einen Piezoaktor samt Herstellverfahren anzugeben, der eine sichere elektrische Kontaktierung besitzt, die die negativen Folgen auftretender Spannungsrisse in der Kontaktierung vermeidet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Piezoaktor nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sowie ein Verfahren zur Herstellung des Piezoaktors sind weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Der erfindungsgemäße Piezoaktor kann einen herkömmlichen und vorzugsweise monolithischen Aufbau besitzen. Stapelartig sind alternierend piezoelektrische Keramik-schichten und Elektroden-schichten übereinander angeordnet und vorzugsweise zusammen gesintert. Außen am Stapel sind zumindest zwei Metallisierungsstreifen zur alternierenden Kontaktierung der Elektroden-schichten aufgebracht. Erfindungsgemäß sind die Metallisierungsstreifen mit Kontaktfahnen verbunden, die eine elektrisch leitende Schicht aufweisen. Die Verbindung ist elektrisch leitend und erfolgt zumindest über die gesamte Höhe der zu kontaktierenden Elektroden-schichten derart, daß seitlich der Metallisierungsstreifen ein überstehender Bereich der Kontaktfahnen verbleibt.

Vorzugsweise ist die Kontaktfahne dünn, aber reißfest ausgebildet und vorzugsweise auch flexibel.

Die überstehende Kontaktfahne stellt eine elektrisch leitende und mit den Metallisierungsstreifen verbundene, vergrößerte Fläche zur Verfügung, ohne daß dadurch gleichzeitig der inaktive Bereich des Piezoaktors vergrößert werden muß. Treten nun während der Polarisierung oder des Betriebs des Piezoaktors Spannungsrisse im Metallisierungsstreifen auf, so werden diese durch die elektrisch leitende Schicht im überstehenden Bereich der Kontaktfahne überbrückt. Die Breite der Kontaktfahnen und damit die Breite des überstehenden Bereichs ist so bemessen, daß Risse in den Metallisierungsstreifen mit großen Reißöffnungen zwar zu einem lokalen Reiß auch in der Kontaktfahne führen, dieser mit Sicherheit jedoch noch innerhalb der Kontaktfahne

zum Stehen kommt. Auf diese Weise können sämtliche auftretenden Risse innerhalb der Metallisierungstreifen elektrisch leitend überbrückt werden, so daß alle ursprünglich kontaktierten Elektroden-schichten elektrisch angeschlossen bleiben und der gesamte Aktor somit keine Leistungseinbuße zeigt.

Mit der Erfindung ist es auch möglich, die Anzahl der Schichten und damit die Stapelhöhe des Piezoaktors zu erhöhen, ohne daß die gleichzeitig damit steigende Gefahr der Reißbildung zum Unterbrechen der elektrischen Kontaktierung und damit zu einer Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit des Piezoaktors führt. Es ist also möglich, monolithische Piezoaktoren in Vielschichtbauweise mit größerer Stapelhöhe und damit größerer nutzbarer Auslenkung zu erzeugen. Während große Auslenkungen bisher nur durch Zusammenkleben mehrerer kleinerer monolithischer Aktoren erhalten werden können, läßt sich nun auch die Ausdehnung einzelner monolithischer Piezoaktoren steigern, ohne Beschädigungen der Aktoren in Kauf nehmen zu müssen. Nur monolithische Piezoaktoren besitzen die hohen Steifigkeiten, mit denen hohe Kräfte im dynamischen Betrieb sicher übertragen werden können.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung besteht die Kontaktfahne aus einem Verbundmaterial, welches neben der elektrisch leitenden Schicht noch zumindest eine Kunststoffschicht umfaßt. Diese Kunststoffschicht erhöht die Reißfestigkeit der Kontaktfahne und dient zum verbesserten Schutz der Kontaktfahne gegen ein Weiterreißen im Betrieb des Piezoaktors. Eine Kontaktfahne aus Verbundmaterial hat außerdem den Vorteil, daß sie gegenüber einer zum Beispiel rein metallisch ausgebildeten Kontaktfahne, beispielsweise eine Metallfolie, leichter sein kann. Im dynamischen Betrieb des Piezoaktors stellt sie also keinen nennenswerten zusätzlichen mechanischen Ballast dar. Die Kontaktfahne ist mechanisch flexibel und kann somit an verschiedene Einbauarten des Piezoaktors und beispielsweise an verschiedene Einbaueinrichtungen leicht angepaßt werden. Gegenüber herkömmlichen Kontaktierungen treten nur geringe zusätzliche Materialkosten auf.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die Kontaktfahne eine metallisch beschichtete Kunststoffolie. Vorzugsweise ist die metallische, elektrisch leitende Schicht im überstehenden Bereich der Kontaktfahne zusätzlich mit einer weiteren Kunststoffschicht kaschiert. Dies hat den Vorteil, daß die Kontaktfahne im überstehenden Bereich allseitig elektrisch isoliert ist, so daß selbst bei starkem Umbiegen im überstehenden Bereich kein Kurzschluß mit den am Rand des Piezoaktors frei zugänglichen Elektroden-schichten auftreten kann. Durch die beidseitig der elektrisch leitenden und zum Beispiel metallischen Schicht aufgetragenen Kunststoffschichten wird die Reißfestigkeit der Kontaktfahne zusätzlich erhöht.

Im Verfahren zum Herstellen eines erfindungsgemäßen Piezoaktors wird ein monolithischer Vielschichtverbund in herkömmlicher und an sich bekannter Weise hergestellt. Dazu können mit Elektrodenmaterial bedruckte Grünfolien übereinander gestapelt und frei oder unter Druck gemeinsam gesintert werden. Die Piezokeramikfolien und gegebenenfalls auch die fertigen Piezoaktoren können einen runden, rechteckigen oder beliebig anderen geformten Querschnitt aufweisen. Das Elektrodenmaterial wird so auf die Folie gedruckt, daß nach dem Stapeln nur jede zweite Elektroden-schicht im Kontaktierungsbereich bis an die Außenkante der piezokeramischen Folie bzw. des späteren Stapels geleitet wird. Durch Aufbringen von je einem Metallisierungstreifen auf die zwei Kontaktierungsbereiche wird beispielsweise jede zweite Elektroden-schicht mit dem einem, die restlichen Elektroden-schichten mit dem zweiten Metalli-

sierungstreifen verbunden. Der Metallisierungstreifen umfaßt ein Metall, das aufgedampft oder aufgesputtert ist oder mit Hilfe einer metallhaltigen Paste aufgebracht und eingebrannt ist.

Auf die Metallisierungstreifen wird nun eine Kontaktfahne so aufgebracht, daß deren elektrisch leitende Schicht über die gesamte Stapelhöhe der kontaktierten Elektroden-schichten elektrisch leitend und fest verbunden ist. Die elektrisch leitende Verbindung kann mit Hilfe eines Leitlebers, eines Lötvorgangs oder gegebenenfalls gleichzeitig mit dem Einbrennen der Metallisierungstreifen erfolgen. Vorzugsweise wird die Kontaktfahne aufgelötet. Ein besonders schonendes Lötverfahren ist das Laserstrahl-löten. Dieses ermöglicht die selektive Einkopplung der zum Löten erforderlichen Energie in die Kontaktfahne, wobei der Piezoaktor selbst einer nur minimalen thermischen Belastung ausgesetzt wird. Er muß auch nicht vorgewärmt werden, so daß keine Schädigung der Keramik durch Thermoschock oder Überhitzen eintreten kann.

Das für die Lötung erforderliche Lot ist vorzugsweise bereits auf der Kontaktfahne aufgebracht. Dazu wird es in dem zur Verlötung vorgesehenen Bereich in herkömmlicher Weise, beispielsweise durch Bedampfen, Sputtern oder Galvanisieren mit einem passenden Lötzinn herkömmlicher Zusammensetzung beschichtet.

Zum Aufbringen der Kontaktfahne mittels Laserstrahl-löten ist es von Vorteil, wenn die Kontaktfahne ein Verbundmaterial aus einem Kunststoff und einer elektrisch leitenden Schicht umfaßt, deren Kunststoff für die Wellenlänge des zum Löten verwendeten Lasers transparent ist. Auf diese Weise kann die Laserenergie nahezu vollständig in die elektrisch leitende Schicht bzw. das darüber aufgetragene Löt-zinn eingekoppelt werden.

Die Verlötung der Metallisierungstreifen mit der Kontaktfahne erfolgt durchgehend über die gesamte Länge des Metallisierungstreifens oder zumindest über die gesamte Stapelhöhe der zu kontaktierenden Elektroden-schichten. Dazu kann ein Dauerstrichlaser oder ein entsprechend gerasteter gepulster Laser verwendet werden. Die Dauer der Laserlötlösung beträgt typischerweise nur wenige Sekunden und läßt sich automatisiert durchführen.

Im folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels und der dazugehörigen sechs Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt die Kontaktierung eines Piezoaktors in schematischer Querschnittsdarstellung.

Fig. 2 zeigt einen erfindungsgemäßen Piezoaktor im schematischen Querschnitt.

Fig. 3 zeigt einen erfindungsgemäßen Piezoaktor in perspektivischer schematischer Darstellung und

Fig. 4 bis 6 zeigen mögliche Ausgestaltungen einer Kontaktfahne im schematischen Querschnitt.

Fig. 1 zeigt einen an sich bekannten Piezoaktor in Vielschichtbauweise ausschnittsweise in schematischer Darstellung. Dieser besteht aus einem Stapel von Piezokeramik-schichten 2 und dazwischen angeordneten Elektroden-schichten 3. Als Piezokeramik kann eine beliebige PZT-Keramik (= Bleizirkonattitanat) eingesetzt werden. Die Elektroden-schichten sind aus einem geeigneten Material, vorzugsweise einer silberhaltigen Einbrennpaste. Die Elektroden-schichten können noch zusätzliche oxidische Zuschläge zur besseren Haftung auf den Piezokeramik-schichten 2 sowie andere Metalle allein oder als weiteren Zusatz enthalten, beispielsweise Platin oder Palladium.

Der hier mit sechs Piezokeramik-schichten 2 dargestellte Stapel wird durch gemeinsames Sintern, gegebenenfalls unter erhöhtem Druck, zu einem festen Verbund vereinigt. Am Rand des Stapels, parallel zur Stapelrichtung sind Metalli-

sierungsstreifen 4 und 5 angebracht. Diese können ebenfalls aus einer eingetragenen Silberpaste bestehen, können alternativ aber auch aufgedampft oder aufgesputtert sein. Maßgeblich ist jedoch weder die Art des Metalles noch die Art der Aufbringung der Metallisierungstreifen am Piezoaktorstapel. An jedem Metallisierungstreifen 4, 5 wiederum werden nun die elektrischen Anschlüsse 6 und 7 befestigt, beispielsweise durch Auflöten eines elektrischen Leiters. Die Verbindung kann dabei an einem oder an mehreren Punkten eines Metallisierungstreifens oder der Kontaktfahne hergestellt werden. Nach der Polung parallel zur Stapelrichtung wird ein funktionsfähiger Piezoaktor erhalten, der bei Anlegen einer Spannung an die Anschlüsse 6 und 7 eine Auslenkung in Richtung  $r$  zeigt. Monolithische Aktoren zur Übertragung großer Kräfte können Stapelhöhen bis zu 40 mm erreichen und je nach Dicke der Piezokeramiksichten bis zu 1000 Keramikschichten 2 umfassen.

Desweiteren geht aus der Fig. 1 hervor, wie die einzelnen Elektroden-schichten parallel so verschaltet werden, daß jede zweite Elektroden-schicht auf gleicher Polarität liegt. Dazu werden die Elektroden-schichten 3 so auf den Piezokeramiksichten 2 aufgebracht, daß Aussparungen 14 im Kontaktierungsbereich bei den Metallisierungstreifen verbleiben, die nicht mit Elektrodenmaterial bedeckt sind. Diese Aussparungen dienen zur Isolation der Elektroden-schicht gegenüber dem Metallisierungstreifen, an den sie nicht angeschlossen werden soll.

Fig. 2 zeigt einen beispielhaften Piezoaktor im Querschnitt durch die Ebene einer Innenelektrode. In der Figur ist der Aktor mit quadratischem Grundriß dargestellt, kann jedoch auch beliebige andere Formen aufweisen. Die oberste Elektroden-schicht 3a hat in der linken oberen Ecke eine Aussparung, an der die darunterliegende Piezokeramiksicht 2 sichtbar ist. Diese Aussparung kann nicht nur quadratisch, wie bezeichnet, sondern auch rechteckige oder elliptische oder kreisförmige Abmessung besitzen und nicht nur an der Ecke, sondern auch in der Mitte der Aktorseite angeordnet sein. Die Elektroden-schicht 3a ist elektrisch leitend mit dem Metallisierungstreifen 4 verbunden, der hier an der Ecke aufgebracht ist. Der an der gegenüberliegenden Ecke aufgetragene Metallisierungstreifen 5 besitzt aufgrund der Aussparung in der Elektroden-schicht 3a keinen Kontakt mit dieser. Er ist dagegen mit der darunterliegenden (hier nicht sichtbaren) Elektroden-schicht 3b verbunden, die an der gegenüberliegenden Ecke des Aktors die gestrichelt dargestellte und mit 8 bezeichnete Aussparung aufweist.

Erfindungsgemäß werden nun die Metallisierungstreifen 4 und 5 mit einer Kontaktfahne 13 verbunden. Die Verbindung erfolgt über die gesamte Höhe des Stapels oder zumindest über die gesamte Höhe der zu kontaktierenden Elektroden-schichten 3. Die Kontaktfahne 13 wird mit Hilfe eines Verbindungsmittels 9 aufgebracht, beispielsweise eines leitfähigen Klebers oder einer Löt-schicht. Gegenüber dem Stapel bzw. der Verbindung mit dem Metallisierungstreifen 4 weist die Kontaktfahne 13 einen überstehenden Bereich auf, dessen Länge  $b$  ausreichend ist, daß während des Betriebs oder der Polung des Piezoaktors 1 auftretende Risse im Metallisierungstreifen innerhalb der Kontaktfahne 13 auslaufen. Für beispielhafte Piezoaktoren mit einer Grundfläche von  $7 \times 7$  mm und einer Höhe von bis zu 40 mm ist es ausreichend, wenn der überstehende Bereich eine Breite  $b$  von 5 bis 10 mm besitzt. Bei geringeren Stapelhöhen kann die Breite des überstehenden Bereichs  $b$  auch kleiner gewählt werden.

Am Ende des überstehenden Bereichs  $b$  kann dann die Weiterkontaktierung in beliebiger Weise, zum Beispiel durch Anlöten eines Drahts, zur Weiterführung an die elektrischen Anschlüsse 6 und 7 erfolgen.

In gleicher Weise wird der zweite Metallisierungstreifen 5 mit einer gleichartigen Kontaktfahne 13 verbunden. Als bevorzugtes Aufbringungsverfahren wird Laserstrahl-löten verwendet.

Fig. 3 zeigt ausschnittsweise und in perspektivischer schematischer Darstellung einen Piezoaktor 1 mit einer angebrachten Kontaktfahne 13. Der dargestellte Piezoaktor zeigt zwar eine Längenausdehnung, ist jedoch noch nicht zur Übertragung großer Kräfte geeignet. Dazu sind hier nicht dargestellte piezoelektrisch inaktive Stirnplatten auf Ober- und Unterseite des Piezoaktors 1 erforderlich, die ebenfalls monolithisch mit dem Stapel verbunden sind.

Fig. 4 zeigt die einfachste Ausführungsform einer Kontaktfahne im schematischen Querschnitt, bei der die Kontaktfahne nur eine elektrisch leitfähige Schicht umfaßt, beispielsweise eine Metallfolie 10. Wahlweise kann die elektrisch leitende Schicht (Folie) 10 entlang einer Kante bereits mit Lot 9 oder einem anderen elektrisch leitfähigen Verbindungsmittel beschichtet sein, das zum Verbinden mit den Metallisierungstreifen 4 und 5 dient. Die Länge der Kontaktfahne vertikal zur dargestellten Schnittebene entspricht beispielsweise der Stapelhöhe des Piezoaktors 1, während die Breite der Kontaktfahne 13 bzw. der Folie 10 zumindest der Breite  $b$  des überstehenden Bereichs plus der Breite der Verbindung mit den Metallisierungstreifen entspricht. Für die beispielhaft genannten Piezoaktoren von  $7 \times 7 \times 40$  (mm)<sup>3</sup> ist ein überstehender Bereich  $b$  von 5 bis 10 mm ausreichend.

Fig. 5 zeigt eine weitere Ausführung der Kontaktfahne 13, bei der diese ein Verbundmaterial aus einem Träger 11 und einer elektrisch leitenden Schicht 10 umfaßt. Als Träger 11 wird beispielsweise eine Kunststoffolie verwendet, die mit einem elektrisch gut leitfähigen Metall 10 beschichtet ist. In einer Ausführungsform der Erfindung wird als Träger 11 eine Kaptonfolie® von beispielsweise 25 µm Dicke verwendet, die mit einem geeigneten Metall, beispielsweise mit 25 µm Kupfer, beschichtet ist. Als Verbindungsmittel 9 wird beispielsweise galvanisch eine Zinnschicht 9 aufgebracht. Die Verwendung von Kupfer für die elektrisch leitfähige Schicht 10 hat den Vorteil einer guten Lötbarkeit sowie einer hohen elektrischen Leitfähigkeit.

Fig. 6: In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist die Kontaktfahne 13 ähnlich wie in Fig. 5 ausgebildet, weist jedoch noch neben dem Lotstreifen 9 noch eine Isolierschicht 12 auf, mit der nahezu die gesamte Oberfläche der elektrisch leitfähigen Schicht 10 abgedeckt bzw. kaschiert ist. Diese Isolierschicht 12 kann eine weitere Kunststoffschicht sein, die direkt an den Lotstreifen 9 grenzt, oder wie dargestellt, von diesem beabstandet ist.

Wird als Aufbringungsverfahren ein Laserstrahl-löten verwendet, so ist es besonders vorteilhaft, wenn die Kontaktfahnen gemäß den Fig. 5 und 6 einen für die Wellenlänge des verwendeten Lasers transparenten Träger 11 umfassen, beispielsweise die genannte Kaptonfolie. Auf diese Weise kann das Laserstrahl-löten mit geringstem Energieaufwand durchgeführt werden, wobei die Laserenergie nahezu vollständig in das aufzuschmelzende Lot 9 eingekoppelt werden kann. Eine thermische Belastung der Folie 11 oder des Piezoaktors 1 wird dabei vermieden.

#### Patentansprüche

1. Piezoaktor in Vielschichtbauweise mit den folgenden Merkmalen

- piezoelektrische Keramikschichten (2) und Elektroden-schichten (3) sind alternierend übereinander zu einem Stapel (1) angeordnet
- die Elektroden-schichten (3) sind zur elektri-

- schen Kontaktierung in alternierender Polarität abwechselnd mit zumindest zwei seitlich am Stapel aufgebrachten Metallisierungstreifen (4, 5) verbunden,
- Kontaktfahnen (13), die eine elektrisch leitende Schicht (10) aufweisen, sind über diese elektrisch leitende Schicht mit den Metallisierungstreifen (4, 5) zumindest über die gesamte Höhe der kontaktierten Elektrodenschichten (3) so verbunden, daß seitlich der Metallisierungstreifen ein überstehender Bereich (b) der Kontaktfahnen verbleibt, wobei die Kontaktfahnen die elektrisch leitende Schicht auch im überstehenden Bereich aufweisen.
2. Piezoaktor nach Anspruch 1, der monolithisch aufgebaut ist.
  3. Piezoaktor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Kontaktfahne (13) ein Verbundmaterial aus einer elektrisch leitenden Schicht (10) und einer Kunststoffschicht (11) ist.
  4. Piezoaktor nach Anspruch 3, bei dem die Kontaktfahne (13) eine metallisch beschichtete Kunststoffolie (11) ist.
  5. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4 bei dem der überstehende Bereich (b) der Kontaktfahne (13) eine Breite von zumindest 5 bis 10 mm besitzt.
  6. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die Kontaktfahne (13) eine beidseitig mit Kunststoff (11, 12) kaschierte elektrisch leitende Schicht (10) umfaßt, die im Bereich der Metallisierungstreifen nur einseitig oder gar nicht mit Kunststoff (12) kaschiert ist.
  7. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Kontaktfahne (13) eine mit Kupfer beschichtete Kunststoffolie (11) umfaßt.
  8. Piezoaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem die Metallisierungstreifen (4, 5) eine Einbrennmetallisierung umfassen.
  9. Verfahren zum Herstellen eines Piezoaktors in Vielschichtbauweise,
    - bei dem piezoelektrische Keramikschichten (2) und Elektrodenschichten (3) alternierend übereinander angeordnet und zu einem monolithischen Verbund (1) verbunden werden,
    - bei dem zumindest zwei Metallisierungstreifen (4, 5) seitlich am Stapel (1) aufgebracht werden, um die Elektrodenschichten (3) in alternierender Polarität elektrisch zu kontaktieren,
    - bei dem die Metallisierungstreifen (4, 5) über die gesamte Höhe der kontaktierten Elektrodenschichten (3) mit je einer, eine elektrisch leitende Schicht (10) aufweisenden Kontaktfahne (13) über die elektrisch leitende Schicht so verbunden werden, daß seitlich der Metallisierungstreifen ein überstehender Bereich (b) verbleibt.
  10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem die elektrisch leitende Schicht (10) im zu verbindenden Bereich eine Lotschicht (9) aufweist und die Kontaktfahne (13) dann mit Hilfe dieser Lotschicht und einem Lötverfahren auf die Metallisierungstreifen (4, 5) aufgelötet wird.
  11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, bei dem das Verbinden der Metallisierungstreifen (4, 5) mit den Kontaktfahnen (13) mittels Laserlötens erfolgt.

- Leerseite -

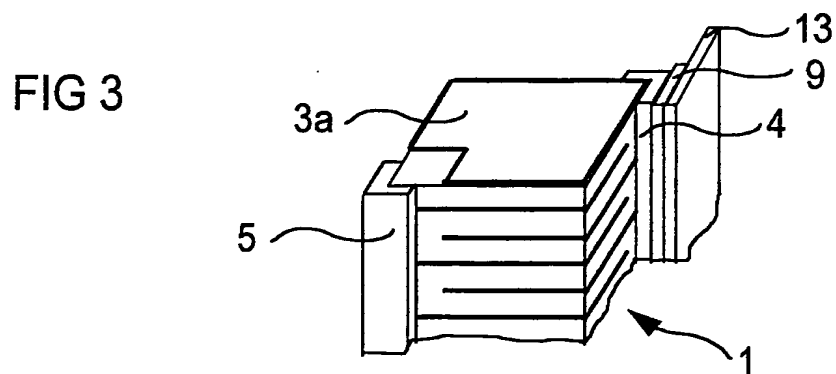
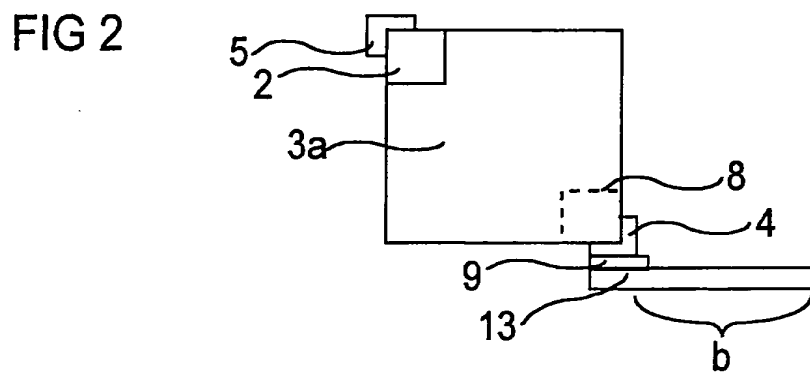
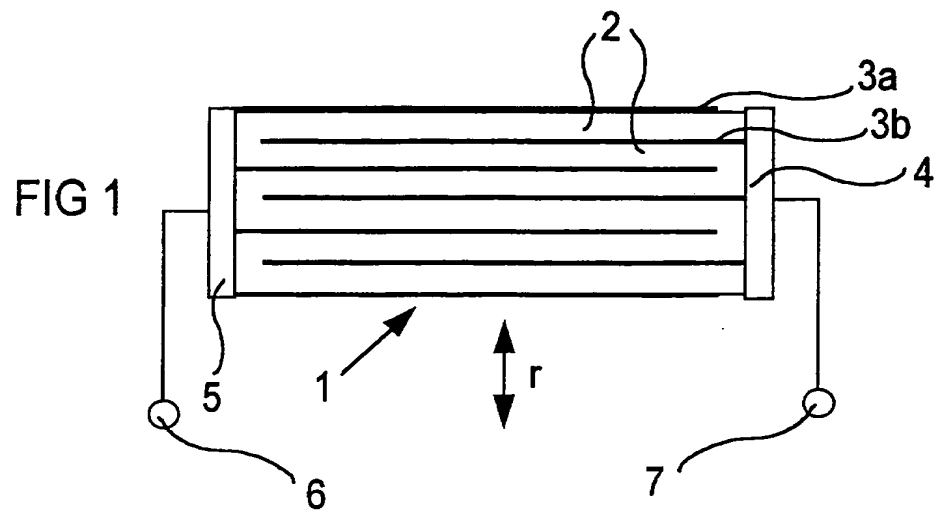


FIG 4

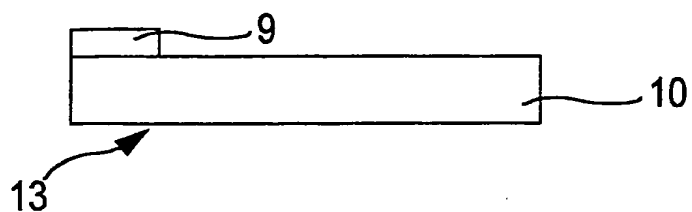


FIG 5

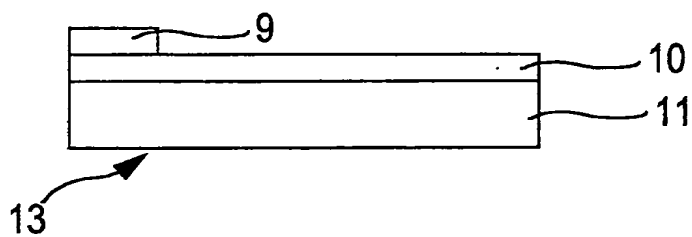


FIG 6

